

**OPTICAL WAVEGUIDE MODULE AND METHOD FOR COUPLING OPTICAL WAVEGUIDE AND OPTICAL FIBER**

Publication number: JP8036117

Publication date: 1996-02-06

Inventor: ISHIKAWA SHINJI; SAITO MASAHIDE; SEMURA SHIGERU

Applicant: SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES

Classification:

- international: G02B6/30; G02B6/30; (IPC1-7); G02B6/30

- European:

Application number: JP19940169495 19940721

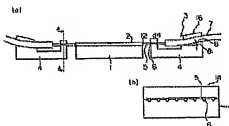
Priority number(s): JP19940169495 19940721

Report a data error here

**Abstract of JP8036117**

**PURPOSE:** To provide an optical waveguide module capable of reducing a cost without requiring use of an optical fiber array to be precisely arranged with optical fibers and a method for coupling the optical waveguide and the optical fibers for the purpose of producing the optical waveguide module.

**CONSTITUTION:** This optical waveguide module has an optical waveguide substrate 1 on which the optical waveguide 2 is formed, the plural optical fibers 3 which are inserted into plural V-grooves 6 formed at an optical fiber arranging member 4 and from which the coatings near the front ends are removed, a UV curing type adhesive 12 which fixes the front ends of the optical fibers 3 and the optical waveguide substrate 1 in the state of aligning the optical fibers 3 to the core part of the optical waveguide 2 and a substrate for fixing which fixes the optical waveguide substrate 1 and the coated parts 7 of the optical fibers 3 to each other. The optical fiber arranging member 4 is removed and reused after the optical fibers 3 are adhered and fixed.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

特開平8-36117

(43) 公開日 平成8年(1996)2月6日

(51) IntCl.<sup>6</sup>  
G 0 2 B 6/30

識別記号 序内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 7 頁)

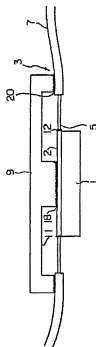
(21) 出願番号	特願平6-169495	(71) 出願人	000002130
(22) 出願日	平成6年(1994)7月21日	(72) 発明者	住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
		(72) 発明者	石川 真二
		(72) 発明者	神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
		(72) 発明者	斎藤 眞秀
		(72) 発明者	神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
		(72) 発明者	瀬村 滋
		(72) 発明者	神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
		(74) 代理人	弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54) 【発明の名称】 光導波路モジュール並びに光導波路及び光ファイバの結合方法

## (57) 【要約】

【目的】 光ファイバを精密に配列する光ファイバアレイを用いる必要がなく、低コスト化を図ることが可能な光導波路モジュール、並びにこの光導波路モジュールを製造するための光導波路及び光ファイバの結合方法を提供することを目的とする。

【構成】 光導波路2が形成された光導波路基板1と、光ファイバ配列部材4に形成された複数のV溝6に挿入されて配列され、先端付近の被覆が除去された複数の光ファイバ3と、光ファイバ3が光導波路2のコア部に対して調心された状態で、光ファイバ3の先端部を光導波路基板1に固定する紫外線硬化型接着剤12と、光導波路基板1と光ファイバ3の被覆された部分7とを互いに固定する固定用基板9とを備えている。光ファイバ配列部材4は、光ファイバ3の接着固定後、取り外され再利用される。



1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光導波路が形成された光導波路基板と、光ファイバ配列部材に形成された複数の V 溝に挿入されて配列され、先端付近の被覆が除去された複数の光ファイバと、

前記光ファイバが前記光導波路のコア部に対して調心された状態で、前記光ファイバの先端部を前記光導波路基板に固定する固定手段と、

前記光導波路基板と前記光ファイバの被覆された部分とを互いに固定する固定用基板と、を備えた光導波路モジュール。 10

【請求項 2】 光導波路基板に形成された光導波路と光出力用の光ファイバとを結合する方法であって、光ファイバ配列部材に形成された V 溝に前記光ファイバを挿入して配列する工程と、

前記光ファイバを前記光導波路のコア部に対して調心した後、前記光ファイバの先端部を前記光導波路基板に固定する工程と、

前記光ファイバ配列部材から前記光ファイバを取り外す工程と、 20

前記光導波路基板と前記光ファイバの被覆された部分とを固定用基板を介して互いに固定する工程と、を備えた光導波路及び光ファイバの結合方法。

【請求項 3】 前記光導波路基板の熱膨張係数と前記固定用基板の熱膨張係数との差が  $5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  未満であることを特徴とする請求項 1 に記載の光導波路モジュール。

【請求項 4】 前記光ファイバの先端部が前記光ファイバ配列部材の端面から突出しており、その突出した長さが 0.5 mm 以上 4.0 mm 以下であることを特徴とする請求項 2 に記載の光導波路及び光ファイバの結合方法。 30

【請求項 5】 前記光ファイバの被覆された部分を支持する支持部が前記光ファイバ配列部材に設けられ、前記光ファイバのうち前記 V 溝によって支持された部分の光軸方向と前記光ファイバのうち前記支持部によって支持された部分の光軸方向とのなす角度が、0.5 度以上 5 度以下であることを特徴とする請求項 2 に記載の光導波路及び光ファイバの結合方法。

【請求項 6】 前記固定用基板に溝が形成されており、前記固定用基板が前記光ファイバ配列部材及び前記固定手段に接触しないようにされていることを特徴とする請求項 1 に記載の光導波路モジュール。 40

【請求項 7】 前記光導波路の端面の法線と前記光導波路の光軸方向とのなす角度が、4 度以上 10 度未満であることを特徴とする請求項 1 に記載の光導波路モジュール。

【請求項 8】 前記光ファイバの先端部を予め放電加熱によって清浄にしておくことを特徴とする請求項 2 に記載の光導波路及び光ファイバの結合方法。 50

2

【請求項 9】 前記光ファイバの先端部を放電加熱によって溶融することにより、前記先端部の形状が曲率半径 1 mm 以下の球面にはば一致するように予め加工しておくことを特徴とする請求項 2 に記載の光導波路及び光ファイバの結合方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光通信システムにおいて使用される光導波路モジュール、並びにこの光導波路モジュールを製造する際に使用される光導波路及び光ファイバの結合方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 近年の光通信技術の発展にともない、光の分岐素子や合分岐素子に対する需要が高まってきている。また、これらの光部品の高密度化の要求を満たすために、石英ガラス系の光平面導波回路が用いられてきている。この光平面導波回路は、低い導波損失のものであり、また光ファイバとの低損失な接続を可能にする。

【0003】 例えば、特開昭 58-105111 号公報には、火炎堆積法 (FHD 法) などによりガラス膜を成膜した後、回路パターンを半導体技術を応用した反応性イオンエッチング法 (RIE 法) で形成し、クラッド部を成膜する手法によって製造される埋め込み型の石英導波路が開示されている。

【0004】 このような光導波路を光素子として用いる場合、光導波路に出入力用の光ファイバを接続する構成が一般的である。光ファイバの接続には、例えば EBE Photonic Technology Letters, vol. 4, No. 8, (1992), pp906-908 に示されているように、光ファイバを精密加工したフェルルに配列固定した光ファイバプレートを光導波路に紫外線硬化型接着剤を用いて接着固定する方法が一般に用いられている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 光ファイバを光導波路に接続する際に最も重要なことは、接続部の位置ずれによる損失が大きくなってはならないことである。光導波路のコア径は 10  $\mu\text{m}$  以下であり、このような光導波路の接続の損失を 0.3 dB 未満にするためには、接続部の位置ずれの量は 1  $\mu\text{m}$  以内にしなければならない。図 7 にコアの位置ずれ量と損失値の関係を示す。

【0006】 上記従来技術における光ファイバの接続方法においては、紫外線を透過する材料、例えば石英ガラスによって光ファイバアレイを構成しなければならない。ところが、ガラスのような加工が困難な材料を 1  $\mu\text{m}$  以内という高精度で加工する必要があるため、光ファイバアレイの価格が非常に高価になり、光導波路モジュールの低コスト化の妨げになっていた。さらに、光導波路ないしは光ファイバアレイが光透過性の材料でなければ適用できないため、FHD 法に代表されるような基板に Si を用いる光導波路の場合には、光ファイバアレイ

3

には光透過性材料（例えば石英ガラス）しか用いることができなかった。また、石英ガラスの精密加工は機械研削加工によらなければならない、加工精度の点で問題があった。さらに、石英ガラスが硬い材料であるため、加工コストが高くなるという問題もあった。

【0007】上記の問題を解決する方法として、例えば特開平3-505775号公報に記載されているように基板に微細加工を施すことによって精密溝を形成する方法も考えられるが、すべての部品に精密加工を施すのは、ファイバアレイによる方法と同様に困難である。

【0008】また、例えば特開昭63-52775号公報に記載されているように、光ファイバをマイクロコンピュータで位置決めする方法もあるが、光ファイバを並列固定するのは、光ファイバが多芯であるため、やはり困難である。

【0009】そこで、本発明の目的は、光ファイバを精密に配列する光ファイバアレイを用いる必要がなく、低コスト化を図ることが可能な光導波路モジュール、並びにこの光導波路モジュールを製造するための光導波路及び光ファイバの結合方法を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1に係る発明は、光導波路が形成された光導波路基板と、光ファイバ配列部材に形成された複数のV溝に挿入されて配列され、先端付の被覆が除去された複数の光ファイバと、光ファイバが光導波路のコア部に對して傾心された状態で、光ファイバの先端部を光導波路基板に固定する固定手段と、光導波路基板と光ファイバの被覆された部分とを互いに固定する固定用基板とを備えている。

【0011】また、請求項2に係る発明は、光導波路基板に形成された光導波路と光入出力用の光ファイバとを結合する方法であって、光ファイバ配列部材に形成されたV溝に光ファイバを挿入して配列する工程と、光ファイバを光導波路のコア部に對して傾心した後、光ファイバの先端部を光導波路基板に固定する工程と、光ファイバ配列部材から光ファイバを取り外す工程と、光導波路基板と光ファイバの被覆された部分とを固定用基板を介して互いに固定する工程とを備えている。

【0012】また、光導波路基板の熱膨張係数と固定用基板の熱膨張係数との差は、 $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 未満であることが望ましい。これは、使用環境の変化（例えば温度変化）による光導波路モジュールの特性変化を抑制するためである。

【0013】また、光ファイバの先端部は光ファイバ配列部材の端面から突出しており、その突出した長さは、0.5mm以上4.0mm以下であることが望ましい。これは、光導波路モジュールを作製する際の光ファイバの位置ずれを低減させる等のためである。

【0014】また、光ファイバの被覆された部分を支持

4

する支持部が光ファイバ配列部材に設けられており、光ファイバのうちV溝によって支持された部分の光軸方向と光ファイバのうち支持部によって支持された部分の光軸方向とのなす角度は、0.5度以上5度以下であることが望ましい。これは、光ファイバにたわみ力を生じさせてV溝に深く挿入させることにより、光ファイバをうまく配列するためである。

【0015】また、固定用基板には溝が形成されており、固定用基板が光ファイバ配列部材及び固定手段に接触しないようにされていることが望ましい。これは、固定用基板を接着する際に、固定用基板が光ファイバ配列部材等に接触しないようにするためである。

【0016】また、光導波路の端面の法線と光導波路の光軸方向とのなす角度は、4度以上10度未満であることが望ましい。これは、光導波路端面での反射減衰量を低減させるためである。

【0017】また、光ファイバの先端部は予め放電加熱によって溶融しておくことが望ましい。これは、接着強度を向上させるためである。

【0018】さらに、光ファイバの先端部を放電加熱によって溶融することにより、先端部の形状が曲率半径1mm以下の球面にほぼ一致するように予め加工しておくことが望ましい。これは、光ファイバ先端での反射減衰量を低減させるためである。

【0019】

【作用】本発明においては、光ファイバ配列部材に形成されたV溝に光ファイバを挿入して配列し、光ファイバを光導波路のコア部に對して傾心した後、光ファイバの先端部を光導波路基板に固定し、光ファイバ配列部材から光ファイバを取り外し、光導波路基板と光ファイバの被覆された部分とを固定用基板を介して互いに固定する。このように、光ファイバと光導波路との接続は、光ファイバを配列するための光ファイバアレイを用いることなく行われる。従って、光導波路モジュールの低コスト化を図ることができ、低コスト化が可能な光導波路及び光ファイバの結合方法が提供される。

【0020】

【実施例】以下、添付図面に沿って本発明の実施例について説明する。なお、図面において同一又は相当部分には同一符号を用いるものとする。

【0021】図1～図3は、本発明に従って構成された光導波路モジュールの製造方法を示す図である。まず、図1(a)に示すように、複数の光ファイバ3を光ファイバ配列部材4によって配列して支持する。すなわち、各光ファイバ3の被覆を除去された部分5は光ファイバ配列部材4のV溝6にそれぞれ挿入されて配列され、光ファイバ3の被覆された部分7は光ファイバ配列部材4の支持部8によって支持されている。また、V溝6に對向してクランプ部材14が設けられ、光ファイバ3の被覆を除去した部分5をV溝6に固定しており、支持部8

5

に対向してクランプ部材16が設けられ、光ファイバ3の被覆された部分7を支持部8に固定している。

【0022】続いて、光パワーメータ（図示せず）によりコアの軸を調心した後、光ファイバ3の先端部にエポキシ系光硬化接着剤を塗布し、紫外光（高圧水銀ランプ、365nm）を10mW/cm<sup>2</sup>の強度で20秒照射することにより、光ファイバ3と光導波路2とを接着固定する。光導波路基板1に形成された光導波路2は、図1(a)の紙面に垂直な方向に配列された複数の光ファイバ3と結合されることになる。硬化後のエポキシ系光硬化接着剤12は固定手段を構成する。また、図4はエポキシ系光硬化接着剤12やその周辺の構成を示す断面図である。

【0023】図1(b)は図1(a)の線A-Aについての断面の拡大図であり、光ファイバ3の被覆を除去された部分5がV溝6によってうまく配列されている状態を示している。

【0024】このように、光ファイバ3の先端部を固定した後、光ファイバ3をV溝6に固定していたクランプ部材14、16を取り外す（図2参照）。そして、図3に示すように、光導波路基板1と光ファイバ3の被覆された部分7との間を、固定用基板9を介して接着剤18、20によって接着固定する。固定用基板9は、シリコンと熱膨張係数を一致させたガラス（例えばHOYA株式会社製、商品名SD2、熱膨張係数 $2.4 \times 10^{-6}$ /℃）から製作されている。

【0025】固定用基板9を装着した後、光ファイバ3、光導波路基板1及び固定用基板9から光ファイバ配列部材4を取り外した。光ファイバ配列部材4は、別の光導波路モジュールを製作する際にふたび使用する事ができる。

【0026】このように製作された光導波路モジュールのファイバ接続部を含む損失は0.45dBであり、反射減衰率は-45dBであった。また、この光導波路モジュールに-40℃～75℃の温度サイクルを与えた後に損失変動を測定したところ、損失が最大であったものと最小であったものとの損失の差は0.12dBと良好であった。温度サイクル付与後の反射減衰量は-44dBであったため、接着部の固定に問題はなかった。

【0027】次に、光導波路基板1の作製方法について説明する。ここでは、接続部の特性にのみ着目するため、平面導波路だけに機能は付加されていない。火炎堆積法（FHD法）によってシリコン基板上にコア・クラッド構造をもつガラス層を形成した後、反応性イオンエッチング法（RIE法）によってコア径8μm、比屈折率差0.3%の埋め込み型直線状導波路を作製する。

【0028】次に、比較のための実験をおこなった。先の実施例と同様の手法で光導波路に光ファイバを接続した後、熱膨張係数が $10 \times 10^{-6}$ /℃のガラス材からなる部材を固定用基板として、光導波路基板と光ファイバ

6

の被覆された部分とを接着固定した。この場合の光導波路基板と固定用基板との熱膨張係数の差は $7.6 \times 10^{-6}$ /℃であり、ファイバ接続部を含む損失は0.42dB、反射減衰量は-45dBであった。そして、前と同様に-40℃～75℃の温度サイクルを与えた後に損失変動を測定したところ、損失が最大であったものと最小であったものとの損失の差は1.4dBと大きくなった。また、温度サイクル付与後の反射減衰量は-15dBであり、接着部が分離した場合の特性となった。

【0029】この比較例より、光導波路基板と固定用基板との熱膨張係数の差は $7.6 \times 10^{-6}$ /℃未満、望ましくは $5 \times 10^{-6}$ /℃未満であるのがよいと判断される。

【0030】なお、光ファイバアレイを用いる方法との比較も行った。火炎堆積法（FHD法）によってシリコン基板上にコア・クラッド構造をもつガラス層を形成し、反応性イオンエッチング法（RIE法）によってコア径8μm、比屈折率差0.3%の埋め込み型直線状導波路を作製した。このように光導波路が形成された光導波路基板に光ファイバアレイを当接し、当接部にエポキシ系光硬化接着剤を塗布して紫外光（高圧水銀ランプ、365nm）を10mW/cm<sup>2</sup>の強度で200秒照射することにより光導波路基板と光ファイバアレイとを接続した。この場合のファイバ接続部を含む損失は0.31dBであり、反射減衰率は-45dBであった。また、この光導波路モジュールに-40℃～75℃の温度サイクルを与えた後に損失変動を測定したところ、損失が最大であったものと最小であったものとの損失の差は0.08dBと良好であった。このように特性は良好であるものの、「発明が解決しようとする課題」のところで述べたように、加工工程数が多く、またコストが高いものとなった。

【0031】次に、実施例の各部の詳細について説明する。光ファイバ3のV溝6内における挙動は、光ファイバ3の位置ずれに対してシビアに効いてくるものであり、光ファイバ3のV溝6内での不揃いや光ファイバ3が光ファイバ配列部材4から突出する部分の曲りは極力少なくする必要がある。V溝6から突出後の光ファイバ3の曲りなどに起因する不揃いは、主に、V溝6から出る長さすなわち光ファイバ3が光ファイバ配列部材4から突出する部分の長さL（図4参照）が過剰になるために、外乱による光ファイバ3の配列乱れが生じることに由来する。石英ガラスのヤング率は $7.2 \times 10^{10}$ kg/mm<sup>2</sup>であり、この値を用いて光ファイバ3の突出部の長さ（ファイバ長）Lと光ファイバ3を曲げようとする荷重との関係を求めると図5に示すようになる。この図より、光ファイバ3の突出部の長さLが3mmで1ミクロン（1μm）の変位を生じさせるのに必要な荷重は0.04gとなることがわかる。同じ大きさのずれ（変位）を起こさせる荷重は突出部の長さLの3乗に反比例する

7

ので、突出部の長さ $L$ の最大値は4mm以下、望ましくは3mm以下とすべきである。もちろん、同じ荷重で生じる位置ずれは光ファイバ3の外径の2乗に反比例するので、光ファイバ3の外径が異なる場合には異なる条件となる。しかし、標準的に用いられている光ファイバの外径は125 $\mu$ mであり、この場合の突出部の長さ $L$ の最大値は3mm程度が望ましい。

【0032】一方、突出部の長さ $L$ の最小値は、光ファイバ3に接着剤を塗布した場合に、これがV溝6まで流れ込まないようにする条件から定まる。従って、この最小値は接着剤の粘度や表面張力によって変化するが、接着剤の粘度が100cpsの場合には0.5mm程度となる。より低い粘度の場合にはより流れやすくなるため、それに応じて突出部の長さ $L$ を調整する必要がある。

【0033】また、光ファイバ3をV溝6に挿入する場合、ある程度角度を付けて挿入すれば光ファイバ3のたわみによって荷重がかけられた状態でV溝6内に設置される。図1に示すように、光ファイバ3配列部材4の支持部8に角度 $\theta$ ：が付けられていれば、光ファイバ3が元の真っ直ぐな形状に戻ろうとする結果、光ファイバ3の被覆を除去した部分6はV溝6内に押し付けられることになる。一方、この角度 $\theta$ ：が大きすぎると光ファイバ3の破損が生じやすいので、適切な角度をとる必要がある。すなわち、V溝6内への保持のためには0.5度以上必要であり、5度以上の角度を付けた場合には光ファイバ3の曲げ半径が10mm程度にまで小さくなり、光ファイバ3の破断しない曲げによる損失増加が問題となる。従って、この角度、すなわち光ファイバ3のうちV溝6によって支持された部分の光軸方向と、光ファイバ3のうち支持部8によって支持された部分の光軸方向とのなす角度は、0.5度以上5度以下の範囲にあることが望ましい。

【0034】さらに、固定用基板9と光ファイバ3との固定位置が不適切であると、外部からの衝撃などを光ファイバ3と光導波路2との接続部がもろに受けて、接続部の離脱が生じる。これを防ぐには、固定部分に衝撃の緩衝部を設けるのが望ましい。従って、固定用基板9は、光ファイバ3のうち被覆された部分7に固定されていることが望ましい。ただし、衝撃を吸収する材料があれば、それを用いて光ファイバ3の露出した部分5と固定用基板9とを接続してもよい。

【0035】また、固定用基板9には溝11が形成されており、固定用基板9が光ファイバ3配列部材4及びエポキシ系光硬化型接着剤12に接触しないようにされている。

【0036】次に、光導波路モジュールにおける反射減衰量の低減効果について検討する。光ファイバ3については、その先端に放電加工が施され、先端部は半径0.2mmの球面に加工されている。光導波路基板1につい

8

ては、その端面の角度 $\theta$ ：(図4参照)が98degとなるように研磨加工が施されている。この場合、光導波路基板1の端面の法線と光導波路2の光軸方向とのなす角度は8度となる。このように作製された光導波路モジュールにおけるファイバ接続部を含む損失は0.39dBであり、反射減衰量は-5.5dB以下であった。このように、光ファイバ3及び光導波路2の双方を加工することによって反射減衰量が向上するのは、反射端面のいずれかが垂直になっていた場合には屈折率不整合による反射光が戻っていつて光源等に悪影響を及ぼすようになることから容易に理解される。なお、角度 $\theta$ ：が90度からあまり大きく離れると接着強度が低下するため、光導波路2の端面の法線と光導波路2の光軸方向とのなす角度は、4度以上10度未満であるのが望ましい。

【0037】また、光ファイバ3の先端部を予め放電加工によって処理することにより、表面の清浄化がなされ、接着強度を向上させることができる。この清浄化の際には、先に述べたような球面までの加工は必要ではない。放電処理条件は用いる光ファイバの材質によっても変化する。放電電圧、放電時間を適切に制御することが必要である。清浄化のための放電処理条件は、放電電圧をファイバ融着の場合の1/4とし、処理時間を半分とすればよい。

【0038】さらに、この光導波路モジュールが高湿環境下に置かれるときには、図6に示したように、光導波路モジュールを密封ケース30に封入して光ファイバ3だけを密封ケースの壁面から出すようにすれば、外部からの高温の空気の侵入を防ぐことができる。

【0039】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、光ファイバを配列するための光ファイバアレイを用いることなく、複数の光ファイバと光導波路とを接続する。従って、光導波路モジュールの低コスト化を図ることができ、低コスト化が可能な光導波路及び光ファイバの結合方法を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による光導波路モジュールの製造工程を示す図である。

【図2】本発明による光導波路モジュールの製造工程を示す図である。

【図3】本発明に従って構成された光導波路モジュールを示す図である。

【図4】本発明に従って構成された光導波路モジュールの一部の拡大図である。

【図5】光ファイバが端面から突出した長さ $1\mu$ mの変位を生じさせる荷重との関係を示す図である。

【図6】光導波路モジュールを密封した実施例を示す断面図である。

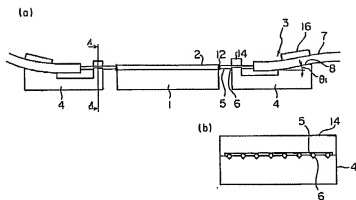
【図7】光ファイバ及び光導波路の位置ずれ量と損失との関係を示す図である。

## 【符号の説明】

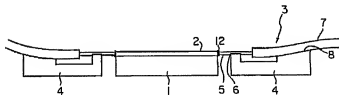
1…光導波路基板、2…光導波路、3…光ファイバ、4

…光ファイバ配列部材、6…V溝、8…支持部、9…固定用基板、11…溝、12…紫外線硬化型接着剤。

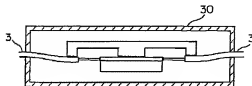
【図1】



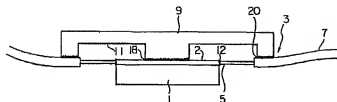
【図2】



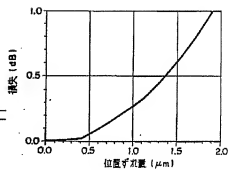
【図6】



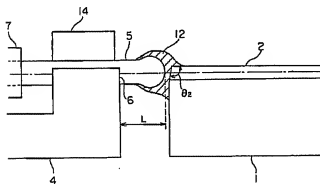
【図3】



【図7】



【図4】



【図5】

